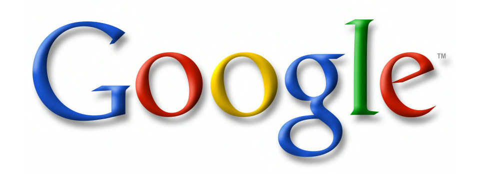
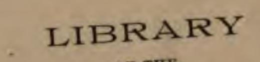



UC-NRLF
$B 24 321





SEITEN-ENTLADUNGEN ISOLIERT GESPANNTER DRÄHTE.

INAUGURAL-DISSERTATION

EINER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT ROSTOCK

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT VON

F. KOCK

AUS WARNOW.

ROSTOCK.

CARL BOLDT'SCHE HOFBUCHDRUCKEREI.

1903.

Referent: Herr Professor Dr. **Wachsmuth.**



Nachfolgende Arbeit über Seitenentladungen isoliert gespannter Drähte, welche auf hohes Potential geladen sind, schliesst sich an die von Herrn Viol[1] veröffentlichten Untersuchungen über mechanische Schwingungen isoliert gespannter Drähte mit sichtbarer elektrischer Seitenentladung und an die etwa gleichzeitig veröffentlichten Mitteilungen von den Herren Th. Tommasina[2] und D. Negreano[3] an. Sie wurde auf Anregung des Herrn Professor Dr. Wachsmuth unternommen, um die von Herrn Viol gefundenen Resultate durch einige Untersuchungen zu ergänzen.

Gegen die von Herrn Viol gegebenen Erklärungen ist von Herrn Johnson[4] Einspruch erhoben worden. Herr Johnson führt die unter bestimmten Verhältnissen auftretende wellenförmige Lichterscheinung auf schnelle elektrische Schwingungen zurück — derart, dass durch die auftretenden Maxima und Minima direkt die Wellenlänge der etwa vorhandenen elektrischen Schwingungen gegeben ist — und nicht auf die sekundäre Wirkung der beim Viol'schen

[1] O. Viol, Rost. Inaug.-Diss. 1901 und Ann. d. Physik **4**, p. 734. 1901.

[2] Th. Tommasina, Phys. Zeitschrift **1**, p. 435. — 1900.

[3] D. Negreano, Comptes rendus **132**, p. 1404. — 1901.

[4] K. R. Johnson, Phys. Zeitschrift **2**, p. 648. — 1901.

Versuch auftretenden mechanischen Schwingungen des gespannten Drahtes.

Die Bestätigung und Erklärung der Viol'schen Resultate, sowie die Widerlegung der Johnson'schen Hypothese bildet demnach den Hauptinhalt der vorliegenden Arbeit. Vorausgeschickt werden einige Beobachtungen über das Wesen elektrischer Seitenentladungen überhaupt, sowie über deren Wirkung auf die photographische Platte und auf das Auge. Zum Schluss werden die Versuche auf die Erscheinungen in Vakuumröhren ausgedehnt.

Über die Seitenentladung an Drähten von mässigem Durchmesser, welche auf einem sehr hohen Potential gehalten werden, sind schon verschiedentlich Beobachtungen gemacht worden, sowohl unter Atmosphärendruck, als auch in evakuierten Röhren.

Als erster beobachtete die Seitenentladung van Marum[1] im Jahre 1799. Liess er auf einen Draht von ca. 0,3 mm Durchmesser, welcher an einem Ende geerdet war, Funken von einer Elektrisiermaschine überspringen, so bedeckte sich der Draht auf seiner ganzen Länge mit einer flammenden Lichterscheinung, welche sich aus kleinen Strahlen zusammensetzte. Dieselben standen rechtwinkelig zur Oberfläche des Drahtes und schienen von allen Seiten aus demselben hervorzukommen.

Von anderen Autoren ist angegeben worden, dass ein auf hohes Potential geladener Draht sich mit

---

[1] van Marum, Gilb. Ann. **1**, p. 110. — 1799.

leuchtenden Punkten besetzt. Die Verschiedenartigkeit der Angaben erklärt sich aus den positiven oder negativen Ladungen des Drahtes.

Die nicht nur bei einfacher elektrostatischer Ladung, sondern ebenfalls unter dem Einfluss schneller elektrischer Schwingungen auftretenden Seitenentladungen, (an Lecherdrähten und Teslatransformatoren) sind beobachtet worden und auch gleichzeitig zur Messung der Wellenlänge der sie erzeugenden Schwingungen benutzt.

Als erster verwendete Lodge[1] diese Seitenentladung zur Messung der Wellenlänge schneller Schwingungen.

Ferner wurde von Arons[2] ein Demonstrationsversuch angegeben zur Messung der Wellenlänge aus der Seitenentladung an Lecherdrähten, welche in einem teilweise evakuierten Glasrohr angebracht waren. Zwischen den parallelen Lecherdrähten erscheint ein leuchtendes Band, in welchem sich nach dem Auflegen der Brücken zur Hervorrufung stehender Wellen Intensitätsmaxima und -minima zeigen, derart, dass ein Maximum einem Bauch und ein Minimum einem Knoten der elektrischen Welle entspricht. Diese Erscheinung konnte also zum Messen der Wellenlänge benutzt werden.

Eine ähnliche Angabe ist von Tesla[3] gemacht worden, welcher fand, dass sich ein an den Hoch-

---

[1] S. O. Lodge, Proc. of Roy. Soc. London **50**, p. 2. — 1851.

[2] L. Arons, Wied. Ann. **45**, p. 553. — 1892.

[3] N. Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme. Deutsch v. H. Maser, Halle bei W. Knapp, p. 302. — 1895.

frequenztransformator angehängter und in eine evakuierte Röhre eingeschlossener Draht in helle und dunkle Abteilungen zerlegt.

Von Coolidge[1] wurde die Seitenentladung, welche bei schnellen Schwingungen grosser Intensität am Lecher'schen Drahtsystem auftritt, zur Messung der Wellenlänge benutzt.

Eine Seitenentladung isoliert gespannter Drähte hat Lehmann[2] in seinem Werk über „Elektrische Entladungen" angeführt. Ein in 150 mm Abstand parallel zu einem mit Stanniol bekleideten Brett gespannter dünner Draht besetzte sich bei positiver Elektrisierung mit einer kontinuierlichen Glimmschicht, bei negativer dagegen mit einzelnen Lichtpunkten. Wurde nun eine Funkenstrecke von 2 cm als Nebenschliessung angebracht, so geriet der Draht bei positiver Elektrisierung in lebhafte Transversalschwingungen, wobei die einzelnen Schwingungszustände durch plötzlich aufleuchtende Glimmentladungen schön zur Anschauung kamen. Bei negativer Elektrisierung dagegen besetzte sich der Draht mit langen, zu seiner Achse senkrechten, Büschelstrahlen.

Die neueren Arbeiten auf dem Gebiete der Seitenentladung rühren von Viol[3], Tommasina[4] und Negreano[5] her. Herr Viol wollte den von Bezold-

---

[1] W. Coolidge, Wied. Ann. **67**, p. 578. — 1899.

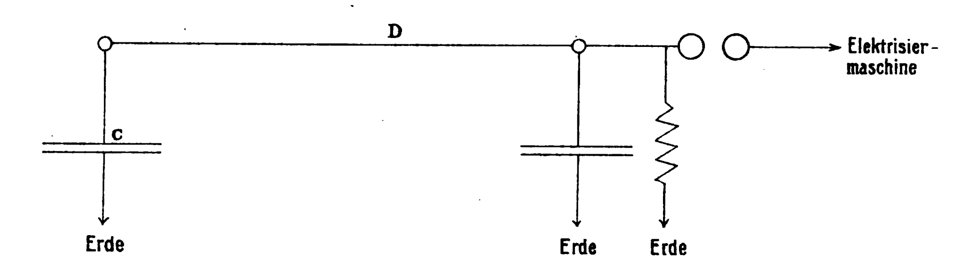
[2] O. Lehmann, Elektrische Lichterscheinungen, Halle bei W. Knapp, 1898, p. 413.

[3] O. Viol, l. c.

[4] Th. Tommasina, l. c.

[5] D. Negreano, l. c.

schen[1] Versuch wiederholen, die in einem Draht D, der durch eine Funkenstrecke mit der Influenzmaschine in Verbindung stand (siehe Schaltungsskizze), ausgelösten



elektrischen Schwingungen mittels der Lichtenberg'schen Staubfiguren auf einseitig belegten Ebonitplatten (c) darzustellen. Dabei fand er, dass der Draht eine sichtbare Seitenentladung zeigte, wenn die Versuche im verdunkelten Zimmer angestellt wurden.

Herr Viol fand dann weiter, dass sich bei negativer Elektrisierung die Seitenentladung in Form leuchtender Wellen zeigte, während gleichzeitig mechanische Erschütterungen d. h. Transversalschwingungen des Drahtes auftraten, die dies leuchtende Wellenbild hervorriefen. Bei positiver Ladung konnte dagegen keine derartige Welleneinteilung hervorgerufen werden.

Gleichzeitig wurde in der Arbeit festgestellt, dass die Zahl der bei negativer Elektrisierung auftretenden Wellen von der Zahl der überspringenden Funken abhängig war.

Die von Herrn Tommasina fast gleichzeitig angestellten Versuche behandeln die Lichterscheinungen,

[1] W. v. Bezold, Poggendorff Ann. **140**, p. 541. — 1870.

welche an einem dünnen Drahte auftreten, wenn er an einem Hertz'schen Erreger angeschlossen wird.

Diese Erscheinungen wurden durch direktes Einwirken auf photographische Platten untersucht, wobei eine durch verschiedene Körper mehr oder weniger stark herbeigeführte Influenzwirkung verschiedene photochemische Wirkungen ergab. Für die angeführten Erscheinungen gibt Herr Tommasina keine weitere Erklärung, sondern teilt sie nur als solche mit.[1]

Von Herrn Negreano wurden ähnliche Erscheinungen an zwei parallel gezogenen Drähten sowohl in Luft als auch im Vakuum aufgefunden.

An quantitativen Untersuchungen, welche sich mehr mit der Elektrizitätszerstreuung als mit den Lichterscheinungen befassen, sind folgende anzuführen:

Jaumann[2] fand, dass der Elektrizitätsverlust durch Seitenentladung an Drähten bei gewöhnlichem Atmosphärendruck eine lineare Funktion des Drahtdurchmessers ist.

Vincentini[3] beobachtete Seitenentladungen im Vakuum und Overbeck[4] wies nach, dass die Seitenentladung an dünnen Drähten mit der Temperatur der Luft zunimmt.

1. Allgemeine Versuchsbedingungen.

Dünne blanke Metalldrähte von kleinem Durchmesser, welche von irgend einer Elektrizitätsquelle auf

[1] Vgl. hierzu auch Viol, Phys. Zeitschr. **1**, p. 464. — 1900.

[2] G. Jaumann, Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. **97** (2), p. 1587. — 1889.

[3] Vincentini, Rend. Acc. dei Lincei, **1**, p. 57. — 1872.

[4] Overbeck, Wied. Ann. **60**, p. 193. — 1897.

hohem Potential gehalten werden, zeigen eine mit Lichterscheinungen verbundene Elektrizitätszerstreuung. Diese durch die Seitenentladung hervorgerufenen Lichterscheinungen sind wesentlich von der Art der Elektrisierung, von der Stärke etwa auftretender elektrischer Oszillationen und von der Influenzwirkung benachbarter Leiter oder Nichtleiter abhängig. Die Intensität des Leuchtens ist bedingt durch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und verändert sich ebenso wie die Art desselben, je nachdem die Drähte in Luft oder in mehr oder weniger evakuierten Röhren ausgespannt sind.

Das Auftreten jeder Seitenentladung eines Drahtes ist an ein hohes statisches Potential oder an oszillatorische Ladungsströme und elektrische Schwingungen geknüpft. Um den etwa durch die verschieden hohen Spannungen und die verschiedene Grössenordnung der Schwingungszahlen etc. hervorgerufenen Unterschied in den Lichterscheinungen festzustellen, wurde mit der Influenzmaschine, dem Teslatransformator und dem Lecher'schen Drahtsystem gearbeitet.

Zur Anwendung gelangte eine Wimshurst-Influenzmaschine mit zwei entgegengesetzt rotierenden Hartgummischeiben von 55 cm Durchmesser. Dieselbe wurde durch einen kleinen Elektromotor in konstante Rotation versetzt. Infolge von Spannungsschwankungen im städtischen Lichtnetz machten sich aber leicht Tourenschwankungen und damit Spannungsschwankungen an der Influenzmaschine bemerkbar, welche bei den photographischen Aufnahmen und Beobachtungen als störend empfunden wurden. Bei den Versuchen war

der eine Maschinenpol der Influenzmaschine geerdet und der andere mit dem zu untersuchenden Draht verbunden, entweder direkt oder unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke aus zwei Messingkugeln von 25 mm Durchmesser, an welchen kleine Klemmen zum Befestigen der Zuführungsdrähte angebracht waren. Die Funkenstrecke enthielt möglichst wenig Metall, welches an den Enden der Drähte hätte als Kapazität dienen können.

Der Teslatransformator wurde in der üblichen symmetrischen Anordnung durch einen Funkeninduktor betrieben und ein Pol desselben mit dem zu untersuchenden Draht verbunden.

Das Lechersystem wurde direkt vom Induktorium erregt.

Bei der Seitenentladung an Drähten in freier Luft kann man ebenso, wie bei der Entladung von anderen Konduktoren, die verschiedenartigen charakteristischen Entladungsformen unterscheiden. Es tritt je nach Art der Elektrisierung sowohl negative, wie auch positive Büschel- und Glimmentladung in mehr oder minder ausgeprägter Form auf. Bei Paralleldrähten tritt hierzu noch die Entladungsform der Streifenentladung und Funkenentladung hinzu. Die ausgeprägten positiven und negativen Erscheinungen werden am besten mittels der Influenzmaschine erhalten, während bei Anwendung des Teslatransformators oder eines Induktoriums entsprechend den erzeugten elektrischen Strombewegungen keine reinen Erscheinungen entstehen und der positive Charakter derselben in den meisten Fällen überwiegt.

Beim Einschliessen der Drähte in mehr oder weniger stark evakuierten Glasröhren wird die Seitenentladung durch die Influenzwirkung der Glaswände und Erscheinungen, welche denen in Geisslerröhren gleichen, modifiziert. Zu bemerken ist noch, dass bei sonst gleichen Entladungsbedingungen der Durchmesser des Drahtes von wesentlichem Einfluss auf den Beginn des Auftretens der Entladungserscheinungen ist. An dünnen Drähten treten die Erscheinungen bei kleineren Potentialen und weniger starken Oszillationen auf als bei Drähten grösseren Durchmessers. Es konnten bei den verwendeten elektrischen Intensitäten in freier Luft an Drähten von ca. 1 mm Durchmesser keine wesentlichen Lichterscheinungen mehr beobachtet werden.

Da eine starke Seitenentladung durch oszillatorische Elektrizitätsbewegungen hervorgerufen wird,[1] welche meistens als durch rasche Potentialänderungen bewirkte Ladungsströme auftreten,[2] so erscheint sie an den am Teslatransformator und Hertz'schen Erreger angeschlossenen Drähten am stärksten.[3] Bei den durch Induktorien oder Influenzmaschinen erzeugten langsameren Schwingungen wird deshalb durch Vor- oder Parallelschalten von Funkenstrecken vor den Entladungsdraht, entsprechend den ausgelösten schnelleren Schwingungen, eine Verstärkung der Seitenentladung herbeigeführt. Nach Lehmann[4] haben hierbei die

---

[1] G. Jaumann, l. c.

[2] R. K. Johnson, Phys. Zeitschrift **2**, p. 649. — 1901.

[3] A. Andrissen, Ann. der Phys. **7**, p. 912. — 1902.

[4] O. Lehmann, Elektrische Lichterscheinungen, p. 409.

durch das Vorschalten an Funkenstrecken bewirkten momentanen Spannungserhöhungen einen Einfluss auf die Intensität der Seitenentladung. Es treten bei Vorschalten von Funkenstrecken durch Mitwirkung der Selbstinduktion Spannungen auf, welche im allgemeinen grösser werden, als bei der Ladung der Drähte ohne Funkenstrecke.

Die Grössenordnung der ausgelösten elektrischen Schwingungen ist dabei von wesentlichem Einfluss auf die Art der Seitenentladung, während die Quantität der zufliessenden Elektrizitätsmenge nicht im Stande ist, die Erscheinungen wesentlich zu modifizieren.

Schaltet man zur Funkenstrecke eine kleine doppelt belegte Glasplatte parallel, so werden die Lichterscheinungen am Draht geschwächt,[1] wenngleich die Zuflussintensität erhöht wird. Es hat also bei derselben Zuflussintensität die Schnelligkeit der Potentialänderungen einen wesentlichen Einfluss auf die Stärke der Seitenentladung.

Ausser den elektrischen Einflüssen kann sich auch ein mechanischer Einfluss geltend machen durch mechanische Schwingungen des Entladungsdrahtes.[2] Diese mechanischen Schwingungen[3] sind im Stande die sonst längs des ruhenden Drahtes gleichen Entladungsbedingungen zu modifizieren und dadurch gleichzeitig auf die Lichterscheinungen einen Einfluss auszuüben.

---

[1] G. Jaumann, l. c.

[2] O. Viol, Rost. Inaug.-Diss. 1900.

[3] Th. Tommasina, l. c.

2. Seitenentladung auf photographischen Platten.

Bei den Untersuchungen über die Seitenentladung wurde von Herrn Tommasina und Herrn Viol, da sich die Lichterscheinungen schlecht photographieren liessen, die direkte Einwirkung derselben auf photographische Platten versucht. Herr Viol fand bei Verwendung der Influenzmaschine und positiver Elektrisierung eine leichte Strahlung längs des Drahtes; bei negativer Elektrisierung dagegen konnte keine charakteristische Ausstrahlung nachgewiesen werden und es trat, je nach dem mehr oder weniger starken Aufliegen des Drahtes auf der Platte, eine leichte Schwärzung derselben ein.

Die von Herrn Tommasina gefundenen photoelektrischen Einwirkungen eines Hertz'schen Erregerdrahtes setzten sich dagegen aus senkrecht zum Draht stehenden Strahlen zusammen. Die durch gleichzeitig auf die Platte gebrachte Körper, wie Holz oder Metall, hervorgerufenen Verstärkungen der Ausstrahlung erklären sich leicht aus den auftretenden Influenzwirkungen.

Es mögen hier einige Versuche über die Einwirkung der Seitenentladung auf photographische Platten Platz finden.

Um eine möglichst kräftige Einwirkung zu erhalten, wurde zuerst die Strahlung eines Tesladrahtes untersucht. Der Teslapol hatte, da durch das Anlegen des Drahtes an die photographische Platte wohl ein grosser Spannungsverlust stattgefunden, nur eine Spannung von $4{,}5 \times 10^3$ Volt., mit einem Braun'schen Elektrometer gemessen. Es wurde eine photographische Platte 9×12 cm auf eine Glasplatte von 13×18 cm

gelegt, welche mit ihrer kurzen Seite von zwei Klötzen getragen wurde, sodass sie nicht unmittelbar auf dem Tisch auflag, sondern sich in einer Entfernung von 5 cm von demselben befand. Auf diese photographische Platte wurde der Draht gelegt und mittels einer anderen photographischen Platte von oben an die erstere angedrückt. Da die Abbildungen bei Verwendung von zwei photographischen Platten immer dieselben waren, so wurde später die obere Platte durch eine Glasplatte ersetzt. Nachdem die richtige Länge der Expositionsdauer aus Versuchen zu ca. 5 Sekunden bestimmt war, ergaben sich ähnliche Figuren, wie die von Herrn Tommasina erhaltenen. Sie bestanden aus rechtwinklig zum Draht gerichteten Strahlen, deren Anzahl mit der Dauer der Exposition zunahm. (Fig. 1.) Auf die Platte gebrachte Körper riefen durch Influenz eine wesentlich verstärkte Wirkung hervor, sowohl in der Anzahl der Strahlen, als auch in der Breite der Ausstrahlung senkrecht zum Draht. Dieselben Erscheinungen wurden bei dem an einem Hertz'schen Erreger angehängten Draht beobachtet. Wurde vor den vom Teslatransformator geladenen Draht eine Funkenstrecke vorgeschaltet, sodass bei grösseren Funkenstrecken in freier Luft die gleichmässige Ausstrahlung längs der Drahtoberfläche gestört war, so zeigte sich dies auch durch unregelmässige Einwirkung auf der Platte, derart, dass die Einwirkung im ganzen schwächer wurde und die sonst geraden Strahlen unregelmässig durcheinander liefen, wobei sie sich kreuzten. (Fig. 2.)

Bei der Untersuchung eines Lecherdrahtes und eines von der Influenzmaschine geladenen Drahtes zeigte es sich, dass die Ausstrahlung durch Seitenentladung zu schwach war und die Platte nur mehr oder weniger unter dem Drahte geschwärzt wurde. Fig. 3 zeigt die Einwirkung eines Lecherdrahtes. Es wurde deshalb zur Verstärkung der Ausstrahlung unter der auf Klötze gelegten, 13×18 cm grossen Glasplatte in der Mitte derselben ein ca. 6 cm breiter Stanniolstreifen geklebt. Es trat hierbei eine stärkere Ausstrahlung auf der photographischen Platte ein, welche sich bei Erdung des Stanniolstreifens noch verstärkte, während sich in der Form der Ausstrahlung kein Unterschied bei Erdung und Nichterdung zeigte. Um den Einfluss der Influenzwirkung sonstiger Körper beispielsweise der Klötze, welche die Platte tragen, auszuscheiden, wurde der Draht sowohl parallel zu den Klötzen, als auch senkrecht dazu gelegt. Es zeigte sich, dass keine Influenzwirkung ebenso wenig wie durch andere in der Nähe befindliche Körper ausgeübt wurde. Der Draht wurde dann wieder wie vorher durch eine auf ihn gelegte, von der etwa anhaftenden Feuchtigkeitsschicht befreite Glasplatte an die photographische Platte angedrückt, welche von der 13×18 Glasplatte mit dem geerdeten Stanniolstreifen getragen wurde. (Siehe Skizze.)

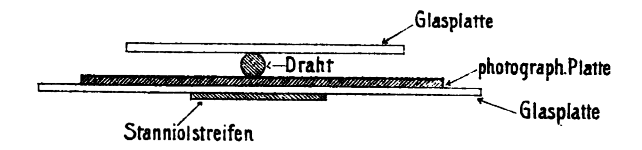


Fig. 4 zeigt die hierbei von einem Lecherdraht erhaltenen Ausstrahlungserscheinungen, welche einen ganz ausgeprägten Charakter haben.

Bei einer negativen Ladung des strahlenden Drahtes durch die Influenzmaschine zeigt die Platte eine Einwirkung in Form grosser Verästelungen von erheblicher Breite um den Draht (Fig. 5). Im Gegensatze dazu traten am Draht selbst keine oder nur sehr schwache Lichterscheinungen auf.

Wurde eine Funkenstrecke vorgeschaltet, so entwickelte sich eine Lichtschicht um den Draht, die aus senkrechten parallelen Strahlen von grosser Regelmässigkeit bestand. Die Breite der Lichtschicht nahm mit der Grösse der Funkenstrecke zu. Auf der Platte wurden hierbei Abbildungen erhalten (Fig. 6), welche den Lichterscheinungen in Form und Ausdehnung gleich waren.

Wurde der Draht mit dem positiven Konduktor verbunden, so waren keine oder nur geringe Lichterscheinungen bemerkbar und es konnte auf der Platte nur das Bild des Drahtes ohne Ausstrahlungserscheinungen erhalten werden, selbst wenn die übliche Expositionsdauer von 5 Sekunden bis zu 5 Minuten verlängert wurde. (Fig. 7.)

Bei vorgeschalteter Funkenstrecke trat dagegen ein Lichtband um den Draht auf, dessen Breite ebenfalls mit der Grösse der Funkenstrecke zunahm, dessen einzelne Strahlen aber nicht so regelmässig wie bei den negativen Aufnahmen waren, sondern mehr von einzelnen Punkten ausgingen und durcheinander liefen.

(Fig. 8.) Sonst waren auch die Abbildungen auf der Platte ihrer Form und Ausbreitung nach den Lichterscheinungen gleich.

Die Breite der leuchtenden Schicht auf der Platte und die Abbildungen wachsen, so lange das Überspringen der Funken in der Funkenstrecke ein regelmässiges und hinreichend schnelles ist, mit der Länge der vorgeschalteten Funkenstrecke.

Wurde beispielsweise für eine Funkenstrecke von 2 mm bei positiver Elektrisierung eine Lichterscheinung von 18 mm Breite erhalten, so war die Breite der leuchtenden Schicht um den Draht 30 mm, wenn eine Funkenstrecke von 5,6 mm vorgeschaltet wurde. Die Breite der erhaltenen Abbildungen war entsprechend. Bei negativer Elektrisierung wachsen die Breitenausdehnungen der Lichterscheinungen und der Abbildungen etwas langsamer wie die Funkenstrecken.

Erwähnungswert ist vielleicht noch, dass in der negativen Lichtschicht einzelne wandernde hellglänzende Bäumchen auftraten, wenn der Draht direkt auf die mit Stanniol belegte Glasplatte gelegt wurde. Auf photographischen Platten konnte diese Erscheinung nicht erhalten werden.

Was die Verschiedenheit der Einwirkung ohne vorgeschaltete Funkenstrecke bei positiver und negativer Elektrisierung anlangt, so scheint die punktförmige negative Büschelentladung eine grössere, nicht von Lichterscheinungen begleitete Ausstrahlung, auf der Platte hervorzurufen, als die Glimmentladung bei positiver Elektrisierung, welche vielleicht auch weniger

reich an ultravioletten Strahlen ist. Unterstützt wird diese Annahme dadurch, dass sich auch von den negativen punktförmigen Lichtflecken viel leichter Aufnahmen mit der photographischen Kamera machen lassen, wie vom positiven Glimmlicht. Die durch Vorschalten von Funkenstrecken erhaltenen, mehr einander ähnlichen Lichterscheinungen, rufen dann auch ähnliche photographische Bilder hervor.

Die Aufnahmen wurden mit einem Cu-Draht von 0,35 mm Durchmesser von gleichmässig blanker Oberfläche gemacht.

Ein Einfluss des Drahtmaterials auf die Ausstrahlung konnte nicht konstatiert werden.

Untersucht wurden Kupfer-, Messing-, Eisen- und Stahldrähte. Ebenso übten Magnetfelder mittlerer Intensität, deren Kraftlinienrichtung senkrecht zum Draht und zur photographischen Platte gestellt wurde, keinen Einfluss auf die Erscheinungen aus, gleichgültig, ob sie von einem konstanten oder intermittierenden Strom erregt wurden.

Es wurde noch versucht, die Ausstrahlung eines geradlinigen Resonators auf photographischen Platten zu erhalten, allein die angestellten Versuche ergaben kein Resultat.

3. Leuchterscheinungen.

Die bei der Seitenentladung auftretenden Lichterscheinungen zeigen in manchen Fällen in ihrem Charakter eine grosse Gleichartigkeit. Bei den am Teslatransformator oder auch an einem Hertz'schen Oszillator angehängten Draht setzen sie sich aus

Büschelentladungen zusammen, welche einen wesentlich positiven Charakter tragen. Die Büschel scheinen um den Strahlungsdraht herumzuschwingen und zwar in der Periode des Erregerfunkens. Sie zeigen eine bläuliche Farbe, welche in der Nähe des Drahtes in eine violett-rötliche Färbung übergeht. Das mehr oder weniger zahlreiche Auftreten der Büschel richtet sich nach der Länge der Funkenstrecke des Erregers. Bei mittleren Längen der Funkenstrecke ist der Draht von einer vollständigen Hülle leuchtender diametral angeordneter Strahlen umgeben (Fig. 9), während bei grosser oder kleiner Länge der Funkenstrecke das Auftreten der Lichterscheinung sich unregelmässig über den Draht verteilt und je nach der Verschiedenartigkeit der Oberfläche und der Influenzwirkung benachbarter Leiter etc. einzelne Stellen derselben bevorzugt. Bei grösseren Funkenstrecken entstehen ferner beim jeweiligen Überspringen des Funkens Lichtwellen, welche über den Draht dahinlaufen. Eine vorgeschaltete kleine Funkenstrecke stört die Lichterscheinungen nicht, trotzdem durch sie die elektrischen Schwingungsverhältnisse andere werden. Beim Einziehen des Drahtes in Glasröhren von ca. 20 mm Durchmesser und Evakuieren derselben verdickten sich die Büschel und traten in grösserer Anzahl auf. (Fig. 10.) Leider geben die Aufnahmen mit einem photographischen Apparate die Erscheinung sehr schlecht wieder, trotz einer erheblichen Expositionsdauer. Sie zeigen nur die Ausstrahlung in der nächsten Nähe der Drahtoberfläche.

Der gleiche Übelstand tritt bei den mit der Influenzmaschine erzielten Entladungserscheinungen auf.

Die Seitenentladung eines Lecherdrahtes besteht aus einem schwachen bläulichen Glimmlicht, welches keine wesentlichen charakteristischen Erscheinungen bietet.

4. Der Viol'sche Versuch.

Während bei allen bisher betrachteten Versuchen der Draht mit einer mehr oder minder gleichförmig leuchtenden Schicht überzogen war, gestalteten sich die Resultate wesentlich anders, wenn man die Viol'sche Anordnung benutzt.

Der Draht wurde in dem von Herrn Viol angegebenen Gestell befestigt. Dasselbe besteht aus einem Brett, auf welchem 2 Klötze in 1 m Entfernung befestigt sind. Diese tragen dicke Ebonitstücke, zwischen welchen der Draht mit einer gewissen mechanischen Spannung eingeklemmt werden konnte. Er war dann vollständig vom Gestell isoliert und befand sich in einer Höhe von 5,5 cm vom Grundbrette des Gestelles. Wurde der Draht jetzt mit dem positiven Konduktor verbunden, so trat ohne Funkenstrecke ein leichtes positives Glimmlicht um den Draht auf, aus welchem, bei vorgeschalteter Funkenstrecke, an verschiedenen Stellen sich nach und nach Büschelentladungen bildeten, die bei Funkenstrecken von mittlerer Länge (ca. 10—15 cm), wenn die Aufeinanderfolge der Funken

---

[1] Th. Tommasina, l. c.

noch eine hinreichende schnelle war, den ganzen Draht bedeckten. (Fig. 11 Vergrösserung.) Es wird dann dieser von einer Hülle bläulichen Glimmlichts bedeckt, aus welchem viele Büschel mit ihren Spitzen hervorbrechen. Sie scheinen in dem Rhytmus der in der Funkenstrecke überspringenden Funken um den Draht zu schwingen. Die Lichterscheinung unterscheidet sich von der, welche an einem am Teslatransformator angehängten Draht auftritt (Vgl. S. 19) dadurch etwas, dass die mehr violett-rötliche Färbung in der Nähe der Drahtoberfläche nicht vorhanden ist. Es sind überhaupt die auftretenden Büschel nicht so scharf ausgebildet, sondern die ganze Erscheinung ist verwischter. Dies mag wohl daher kommen, dass bei Teslatransformatoren die Entladungsintensitäten grösser als bei der Influenzmaschine sind. Bei grösseren Funkenstrecken wird das Auftreten der Büschel ein unregelmässiges und die Erscheinung läuft über den ganzen Draht hin und her.

Wurde dagegen der negative Pol der Influenzmaschine an den Draht gelegt, während der positive geerdet war, so trat am Draht eine Entladung ein, welche sich (Fig. 12) aus leuchtenden Punkten in ziemlich regelmässigen Abständen zusammensetzte. Es war dabei keine Richtung auf der Oberfläche bevorzugt. Beim Vorschalten der Funkenstrecke trat zu den leuchtenden Punkten ein Glimmen des Drahtes hinzu, derart, dass die leuchtenden Punkte je nach der Länge der Funkenstrecke wanderten und mit der Glimmentladung ein leuchtendes Wellenbild auf dem Draht hervorriefen. Die Wellenzahl änderte sich mit der

Länge der Funkenstrecke. Dies ist die von Herrn Viol gefundene Erscheinung.

Es ist dabei die Zahl der Wellen, wie schon Herr Viol angiebt und wie es sich auch im Verlaufe dieser Untersuchung bestätigte, nicht unbedingt von der Länge der Funkenstrecke abhängig, sondern variiert mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft, sodass zu derselben Funkenstrecke bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden eine verschiedene Wellenzahl gehört. Die leuchtenden Punkte auf dem Draht, für deren Auftreten Herr Viol keine Erklärung geben konnte, sind, wenn man sie unter der Lupe betrachtet, nicht homogen in ihrer Erscheinung, sondern zeigen einen bläulichen Kern, der von einer violetten Hülle umgeben ist. Sie sind also offenbar negative Büschelentladungen, die an besonders ausgezeichneten Stellen auftreten. Vermutlich gehen sie von kleinen Staubteilchen auf dem Draht aus. Sie lassen sich fortwischen, werden aber nach kurzer Zeit durch einen neuen Punkt in der Nähe der alten Lage ersetzt. Die von Herrn Viol bei der photographischen Aufnahme gefundene grössere Breite der Punktbilder, macht sich auch bei der Anwendung von Isolarplatten bemerkbar und rührt wohl daher, dass das Licht des Büschels, welches nur schwach sichtbar ist, einen grossen Reichtum an photographisch wirksamen Strahlen hat, sodass eine starke Einwirkung auf die photographische Platte stattfinden kann.

Zur Erklärung des wellenförmigen Charakters der Lichterscheinung wurden von Herrn Viol die gleichzeitig bei der Welleneinteilung auf dem Draht auf-

tretenden mechanischen Schwingungen desselben herangezogen.

Die Amplituden der Schwingungen waren aber zu gering, als dass ihm eine gute Beobachtung der Knoten und Bäuche möglich gewesen wäre. Vielmehr konnte er nur aus dem wellenförmigen Charakter der Lichterscheinung auf Knoten und Bäuche schliessen derart, dass infolge der grösseren Elektrizitätszerstreuung in den Bäuchen die Bildung elektrisch leuchtender Luftschichten durch Seitenentladung unmöglich wird und die Lichterscheinung sich an den Knoten und in der Nähe derselben als negatives Glimmlicht mit je einem Büschel in der Mitte festsetzt.

Da die Erscheinung sich als sehr empfindlich erweist und schon ein näheres Herangehen zur Beobachtung die Wellenbildung beeinträchtigt, so war anzunehmen, dass bei dem Auftreten der mechanischen Schwingungen die Influenzwirkung und elektrische Anziehung durch das Fussbrett der Spannvorrichtung eine Rolle spielen würde. Um von diesen Einflüssen frei zu werden, wurde der Draht zur Beobachtung an zwei Glasstützen ausgespannt, sodass er sich ungefähr in der Längsachse des Experimentierraumes befand, gleichmässig entfernt von allen Wänden desselben. Es wurde der scharf beleuchtete Draht mit einem Fernrohr für kurze Distanz während der Elektrisierung genau beobachtet und es zeigte sich, dass derselbe, abgesehen von einigen unregelmässigen Erschütterungen, welche auch schon vor der Elektrisierung vorhanden waren, vollständig in Ruhe blieb.



Die Lichterscheinungen waren wesentlich geschwächt. Es konnte bei nicht vorgeschalteter Funkenstrecke kein positives Glimmlicht nachgewiesen werden; die negativen Punkte traten in grösseren Abständen von einander auf. Das Auftreten der negativen Büschel in gewissen regelmässigen Abständen lässt sich dadurch erklären, dass die Entladungsbedingungen längs der ganzen Drahtoberfläche, wenn dieselbe von gleichmässiger Beschaffenheit ist, gleich sind. Etwa auftretende Unregelmässigkeiten in den Abständen sind auf ungleichmässige Struktur der Drahtoberfläche und auf Staubteilchen etc. zurückzuführen. Das mehr oder weniger dichte Auftreten der negativen Punkte richtet sich dabei nach der Grösse der zur Entladung gelangenden Intensitäten und wird durch Influenzwirkungen beeinflusst. Beim Vorschalten der Funkenstrecke bildeten sich positive Büschel. Die negativen Büschel vermehrten sich, woraus dann nach und nach Glimmentladung entstand, ohne den regelmässigen Wellencharakter zu zeigen, welcher bei dem ins Gestell gespannten Draht auftrat.

Um die durch Annäherung eines Körpers bewirkte Influenzwirkung zu konstatieren, wurde dem Draht eine auf ihrer Rückseite mit Stanniol belegte Glasplatte genähert, wodurch sofort wieder die mechanischen Schwingungen hervorgerufen werden konnten. Dieselben Schwingungen traten auch bei Annäherung eines Blechstreifens oder einer Holzleiste auf. Bringt man einen Blechstreifen von ca. 3 cm Kantenlänge in die Nähe des Drahtes, so bildet sich ohne vorgeschaltete Funkenstrecke bei positiver Elektrisierung eine Glimmentladung

auf der Oberfläche, welche je nach der Annäherung in eine Büschel- und dann in eine Streifenentladung übergeht. Zuletzt findet eine Funkenentladung statt. Bei negativer Elektrisierung rücken die punktförmigen Büschel durch Neubildung derselben zusammen; es tritt zwischen ihnen Glimmlicht auf und bei weiterer Annäherung des Blechstreifens bildet sich wieder Streifenentladung, welche aber nicht gleichmässig bläulich, wie bei der positiven Elektrisierung ist, sondern an den Orten der punktförmigen Büschel von rötlichen Streifen durchsetzt wird. An der Stelle dieser Streifen bilden sich dann bei weiterer Annäherung die Funken aus.

Durch vorstehenden Versuch ist bereits erwiesen, dass die Schwingungen des Drahtes lediglich durch elektrostatische Kräfte entstehen.

Jetzt wurde die Viol'sche Spannvorrichtung wieder benutzt, der Draht zunächst sehr lose gespannt und zur Verstärkung der elektrostatischen Kräfte eine, mit einem geerdeten Staniolstreifen belegte Glasplatte auf das Grundbrett gelegt. Es trat bei der Elektrisierung dann zunächst eine schwache Anziehung und entsprechende Durchbiegung des Drahtes ein, welche allmählich in Schwingungen mit regelmässiger ziemlich grosser Amplitude überging.

Zunächst stellte sich nur die Grundschwingung her, sowohl bei positiver als auch negativer Elektrisierung, unabhängig davon, ob eine Funkenstrecke vorgeschaltet war oder nicht, nur, dass im letzteren Falle meistens die Schwingungsamplituden kleiner waren. Die zuerst gehegte Annahme, dass diese Schwingungen durch die

Potentialschwankungen der Wimshurstmaschine erzeugt werden könnten, da ja durch die einzelnen Stanniolbelegungen ein intermittierender Zufluss bedingt ist, bestätigte sich nicht; denn es traten dieselben Erscheinungen bei einer Holtz'schen Maschine auf, bei welcher doch ein mehr kontinuierliches Zufliessen der Elektrizität stattfindet.

Um nun auch andere Schwingungszustände wie die Grundschwingung der Beobachtung zugänglich zu machen, wurde oberhalb der einen und unterhalb der anderen Hälfte des in der Grundschwingung schwingenden Drahtes eine stanniolbelegte, geerdete Glasplatte angebracht und der Versuch gemacht, durch Festhalten der Mitte des Drahtes die Oktave zu erzielen. Dieser Versuch gelang. (Fig. 13.)

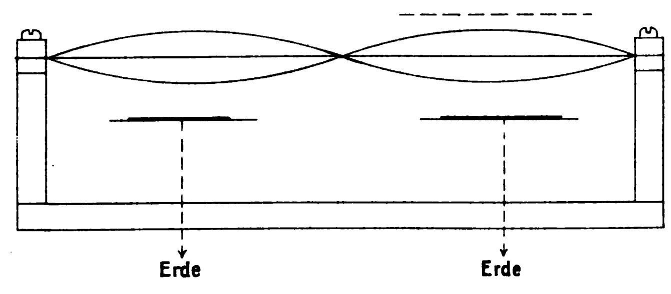


Fig. 13.

Ebenso konnte man 3 und 4 Bäuche erzielen, wenn über dem ersten und unter dem letzten Drittel resp. Viertel des Drahtes die Platten angebracht wurden. Später gelang es auch durch Anbringung der Platten auf derselben Seite des Drahtes alle Schwingungszustände hervorzubringen. Die verschiedenen Schwingungs-

zustände konnten sowohl mit als ohne vorgeschaltete Funkenstrecke erzielt werden. Bei nicht vorgeschalteter Funkenstrecke waren dieselben allerdings wesentlich schwächer ausgebildet. Sie traten auch nur auf, wenn man von dem belegten Streifen aus einen Funken überspringen liess, wodurch die Potentialänderungen im Draht grösser wurden. So eingeleitet, liessen sie sich dann eine kurze Zeit aufrecht erhalten. Bei vorgeschalteten Funkenstrecken waren die Schwingungen so intensiv, dass oft ein dem Schwingungszustand entsprechender lauter Ton zu hören war.

Denkt man sich nun bei Schwingungszuständen mit vielen Knoten und Bäuchen unter jedem Bauch eine Platte gelegt, so kommt als Summenwirkung die Einwirkung der Grundplatte heraus, welche also, wie die Überlegung zeigt, wohl im Stande ist, die verschiedenen Schwingungszustände des Drahtes herbeizuführen. Der vorgeschaltete Funke löst dabei gleichzeitig die elektrischen Schwingungen und die, die mechanischen Schwingungen bedingenden Potentialänderungen aus.

Die von Herrn Johnson[1] geäusserte Ansicht, dass Herr Viol die im Draht auftretenden elektrischen Schwingungen mit den mechanischen mehr oder weniger identifiziert, wie aus dem Aufsatz in der Phys. Zeitschrift hervorgeht, in welchem es unter anderem heisst: „Diese in den an eine Influenzmaschine angehängten Drähten erzeugten elektrischen Schwingungen werden von Herrn Viol als eine Folge der mechanischen oder akustischen Schwingungen, in welche die Drähte gleich-

[1] Johnson, l. c.

zeitig versetzt werden, betrachtet etc.", beruht auf einem Irrtum, denn Herr Viol beschäftigt sich nicht mit den elektrischen Schwingungen, sondern betrachtet nur die elektrostatischen Entladungserscheinungen, welche wohl einem Einflusse durch die von den mechanischen Schwingungen modifizierten Entladungsbedingungen unterliegen können. Es rufen dabei nicht die durch einen knallenden Funken in der Funkenstrecke selbst ausgelösten Erschütterungen die mechanischen Schwingungen des mit derselben verbundenen Drahtes hervor, denn der vorgeschaltete Funke ist bei seinem matten, wenig aktiven Aussehen nicht geeignet, Erschütterungen hervorzurufen. Es wurden ferner von Herrn Viol durch Verwendung spiralförmiger Zuführungsdrähte zum Strahlungsdraht etwa in der Funkenstrecke auftretende Erschütterungen für den angeschlossenen Draht unschädlich gemacht.

Über die Auslösung mechanischer Schwingungen an Drähten durch elektrostatische Ladungserscheinungen sind in der Litteratur verschiedene Beobachtungen enthalten.

Die erste Beobachtung über das Tönen gespannter Drahtsaiten, welche von schnellen Entladungen durchlaufen werden, ist von Semmola [1] angegeben, welcher fand, dass die Tonstärke mit der Zahl der überspringenden Funken zunimmt.

Ähnliches fanden W. Stroud und J. Wertheimer,[2] welche das Tönen gespannter Drähte, die von wechseln-

[1] Semmola, Comptes rendus **102**, p. 1059. — 1886.

[2] W. Stroud und J. Wertheimer, Chem. News Bd. **56**. — 1887.

den Stromintensitäten durchlaufen werden, auf elektrodynamische Anziehungen zurückführen. Zur Kontrolle betteten sie die Drähte in Gyps ein, worauf das Tönen ausblieb.

Eine weitere Beobachtung ist von C. Argyropoulos [1] angegeben, welcher einen glühenden Platindraht in einer Spannvorrichtung durch intermittierende Ströme in die verschiedensten Schwingungszustände versetzen konnte. Es wurden bis zu 12 Bäuche und Knoten beobachtet.

Bei einem durch den Teslatransformator erregten Draht von 0,1 mm Durchmesser fand Herr Himstedt [2] das Auftreten mechanischer Kräfte, welche durch elektrostatische Anziehung hervorgerufen wurden. Himstedt beobachtete, dass der glühende Draht in Schwingungen geräth und ausserdem eine Zickzacklinie von 1 m langen, scharfen Knicken bildet, welche auch beim Unterbrechen des Stromes bestehen bleiben. Er führt an, dass das Aussehen des Drahtes auf das lebhafteste einer gezupften Saite gleicht und ein Unterschied nur darin besteht, dass die Ausbiegungen nach allen Seiten stattfinden.

Schwingungen an Tesladrähten wurden auch von Herrn E. de Fodor [3] beobachtet.

Hierher gehören ferner die von einer durch Teslaströme geladenen Platte in Glühlampenfäden bewirkten mechanischen Schwingungen.[4]

[1] T. Argyropoulos, Wied. Ann. **41**, p. 503. — 1890.

[2] Himstedt, Wied. Ann. **52**, p. 473. — 1894.

[3] E. de Fodor, Teslaversuche p. 25.

[4] T. Himstedt, l. c.

Auch Herr Lehmann[1] hat Schwingungen an elektrisch geladenen Drähten beobachtet.

Herr Melde[2] konnte einer Metallsaite durch Festhalten in den Knotenpunkten die verschiedensten Schwingungszustände aufzwingen, wenn er sie zwischen die beiden Konduktoren der Influenzmaschine brachte.

Von Herrn Coolidge[3] wurden in dem Sekundärleiter eines Blondloterregers mechanische Schwingungen beobachtet, welche von Anziehungs- und Abstossungserscheinungen zwischen dem Sekundär- und Primärleiter des Blondloterregers herrühren.

Zu den durch elektrostatische Anziehungserscheinungen hervorgebrachten Schwingungen gehört auch der sogenannte Kathodenton, welcher an der Kathode von Entladungsröhren unter Umständen deutlich wahrnehmbar ist.[4]

Alle diese Schwingungserscheinungen lassen sich auf Potentialschwankungen von regelmässiger Periode zurückführen. Die Kraftwirkungen, welche die Schwingungen auslösen, werden teils durch direkte Anziehung zwischen den Drähten und benachbarten Leitern stattfinden; andererseits spielen aber wohl die vom Draht in Gestalt des elektrischen Windes abgestossenen elektrisierten Luftteilchen eine Rolle dabei. Während die Abstossung der elektrisierten Luftteilchen bei frei gespannten Drähten nach allen Richtungen er-

---

[1] O. Lehmann, Elektr. Entladungen p. 413.

[2] Melde, Wied. Ann. **63**, p. 79. — 1897.

[3] W. D. Coolidge, Wied. Ann. **67**, p. 580. — 1899.

[4] J. Stark, Drude. Ann. **1**, p. 433. — 1900.

folgt, wird bei Annäherung eines zweiten Leiters eine Richtung bevorzugt, sodass dadurch der Gleichgewichtszustand des Drahtes gestört wird.

Es ist wohl anzunehmen, dass beide Erscheinungen eine Rolle spielen, denn bei negativ elektrisierten Drähten treten die mechanischen Schwingungen ebenso stark auf wie bei positiver Elektrisierung, während die Ladungen negativer Drähte durch das leichtere Ausströmen der negativen Elektrizität im allgemeinen bei kleinen Drahtdurchmessern geringer sind wie bei den positiv elektrisierten Drähten.

Der Einfluss der verschiedenen Schwingungszustände des Drahtes auf die Lichterscheinung der Seitenentladung ist, wie schon vorher bemerkt wurde, dadurch bedingt, dass durch die Schwingungen die Entladungsbedingungen für die einzelnen Strecken des Drahtes verändert werden. Die negative Glimmentladung, welche sich um die Büschel bildet, setzt sich an den Knoten fest. Figg. 14—16 zeigen den Draht in den verschiedenen Schwingungszuständen. Die erste ist die Grundschwingung; die folgenden zeigen die Unterteilung in mehrere Wellen, je nach Einregulierung der Funkenstrecke. In Fig. 17 ist ausserdem noch eine Welle vergrössert dargestellt.

Der Versuch, obigen Nachweis quantitativ zu erbringen, konnte leider nicht gut durchgeführt werden, da kein Siemens'sches oder absolutes Elektrometer für höhere Spannungen zur Verfügung stand. Der Draht war zur Ausführung des Versuches mit einem koaxialen Zylinder aus Blech umgeben und es wurde das Eintreten der Entladung durch den Beginn des Ausschlagens

eines d'Arsonval Galvanometers, welches zwischen Zylinder und der Erde eingeschaltet war, bestimmt.

Die Spannung wurde mit einem Braun'schen Verlesungselektrometer abgelesen. Für einen Kupferdraht von 0,2 mm Durchmesser und 240 mm Länge, welcher von einem 180 mm langen Entladungszylinder von 40 mm Durchmesser umgeben war, ergab sich als Anfangspotential der Entladung bei positiver Elektrisierung, als Mittel aus mehreren Beobachtungen, ein Potential von 7100 Volt, bei negativer dagegen von 6500 Volt.

Wurde der Draht, der durch einen Seidenfaden mit einer Stimmgabel verbunden war, durch letztere in die Grundschwingung versetzt, so ergaben sich entsprechend 7000 und 6250 Volt. Die Messungen nehmen wegen der Art des Spannungsmessers keine grosse Genauigkeit für sich in Anspruch und sind nur von relativer Bedeutung, da das Potential des Drahtes durch den Entladungszylinder herabgedrückt wird. Die Potentiale der im Gestell gespannten Drähte betragen annähernd ca. 15000 Volt, wobei dann der Einfluss der mechanischen Schwingungen auf das Entladungspotential wohl grösser ausfallen wird.

Ist die Funkenstrecke nicht richtig einreguliert, so lässt sich das Bild der Welle nicht aufrecht erhalten. Da die negative Seitenentladung sich an dem Schwingungsknoten festsetzt, wenn der Schwingungszustand einmal eingeleitet ist, so wird derselbe auch besser aufrecht erhalten, wie bei der positiven Entladung, welche das Bestreben hat, über den ganzen Draht hinzuwandern.

Was die von Herrn Johnson[1] geäusserte Ansicht anbelangt, dass der wellenförmige Charakter der Lichterscheinung bei negativer Elektrisierung direkt die Wellenlänge der elektrischen Schwingungen gibt, so ist zu bemerken, dass die durch das Vorschalten von Funkenstrecken erhaltenen Wellenlängen von 5 cm bis zu einem Meter doch nicht von den durch die Variation der Funkenstrecke bedingten veränderten elektrischen Verhältnissen des schwingenden Systems herrühren können und eine starke Ausbildung der elektrischen Oberschwingungen nicht wahrscheinlich ist. Wurde zur Funkenstrecke, nachdem eine bestimmte Einteilung des Drahtes erhalten war, ein kleinerer verstellbarer Luftkondensator von 5 cm Plattenradius parallel geschaltet und der Plattenabstand verschieden eingestellt, so konnte keine Einwirkung nachgewiesen werden.

Die gleichfalls von demselben Verfasser aufgestellte Formel für die elektrischen Wellen, welche in frei endigenden Drähten auftreten:

$$R = \frac{2\,l}{m + 1} \quad \text{wobei } m = 0, 1, 2 \text{ etc. ist,}$$

wodurch nachgewiesen werden soll, dass die Wellenlänge der elektrischen Wellen in frei endigenden Drähten auch ganzzahlig und somit die Lichterscheinung von den ganzzahligen mechanischen Schwingungen unabhängig ist, lässt sich wohl nicht auf unseren Fall anwenden, denn das ganzzahlige Verhältnis der leuchtenden Wellen am Entladungsdraht ist unabhängig von

[1] K. R. Johnson, Phys. Zeitschr. **2**, p. 649. 1902.

der Länge der Zuleitungsdrähte vom Entladungsdraht zur Funkenstrecke.

Dass in den an die Influenzmaschine angehängten Drähten oszillatorische Elektrizitätsbewegungen, teils durch die Potentialänderungen in der Influenzmaschine selbst, teils durch die vorgeschalteten Funkenstrecken ausgelöst werden, soll nicht bestritten werden, wohl aber erscheint es ausgeschlossen, dass die sich bildende wellenförmige negative Entladungserscheinung die Wellenlänge der Schwingungen gibt.

Die aus der grösseren Lichtentwicklung am positiven Draht gefolgerten stärkeren elektrischen Schwingungen in demselben sind auch nicht ohne weiteres zuzugeben, denn die Lichterscheinungen der negativen Büschelentladung sind, wie Hr. Jaumann[1] beobachtet hat, in hohem Masse unempfindlich gegen rasche Potentialänderungen, während doch die Entladungsintensitäten in demselben wesentlich vermehrt worden sind.

Fig. 18 zeigt noch eine bei der Annäherung eines zweiten Drahtes an den ohne Funkenstrecke negativ elektrisierten Strahlungsdraht erhaltene Welleneinteilung, derart, dass den negativen Büscheln Wellen positiven Glimmlichts entsprechen. Man könnte die Erscheinung für elektrische Wellen halten, findet aber aus den auftretenden Unregelmässigkeiten, dass dies nicht der Fall ist.

Um einige relative Beziehungen für die Abhängigkeit der an den Drähten auftretenden Lichterscheinungen

---

[1] Jaumann, l. c.

von der Influenzwirkung genäherter Körper zu erhalten, wurde je ein Messingdraht von 0,35 mm Durchmesser und 65 cm Länge im Gestell und in der Mitte des Experimentierraumes 1,60 m vom Boden gespannt. Der Draht im Gestell befand sich 55 mm von der Grundplatte desselben entfernt. Diese Entfernung konnte auf 20 mm verringert werden. Ferner konnte in dieselbe Entfernung eine mit Stanniol beklebte Glasplatte an den Draht gebracht werden. Die Messungen wurden bei 65 % relativer Feuchtigkeit gemacht und zeigen, dass die Lichterscheinungen nicht allein von der Länge der Funkenstrecke, sondern auch von der Influenzwirkung benachbarter Körper und den in ihnen etwa auftretenden elektrischen Schwingungen abhängig sind.

5. Seitenentladung in Vakuumröhren.

Beim Einschliessen der Drähte in Vakuumröhren werden, wie schon Eingangs bemerkt, die Erscheinungen der Seitenentladung etwas andere. Zur Untersuchung derselben wurde ein Messingdraht von 0,35 mm Durchmesser in eine Glasröhre mittlerer Weite koaxial eingeschlossen. Bei geringeren Verdünnungsgraden bis zu 20 mm, welche sich mit der Wasserluftpumpe erreichen lassen, traten dieselben Leuchterscheinungen wie in der freien Luft auf, nur war der Draht in wesentlich verstärktem Masse mit einer mehr oder weniger gleichmässigen Lichtschicht bedeckt. (Vgl. S. 20—21.) Der Draht bleibt dabei,

Draht in Entfernung von 1,65 cm vom Boden gespannt.		Draht im Gestell.	
Positive Ladung.	**Negative Ladung.**	**Positive Ladung.**	**Negative Ladung.**
F. Str. 0 mm. Der Draht bleibt dunkel. Bei vorgeschalteter F. Str. von 6 mm Auftreten von Büschelentladung.	F. Str. 0. Der Draht bleibt dunkel. F. Str. 6.4 mm Punkte. F. Str. 10,5 const. Glimmlicht	Höhe des Gestelles 55 mm.	
		F. Str. 0 mm Glimmen. F. Str. 2,3 mm Einzelne Büschel. F. Str. 10,5 mm Draht ist vollständig von Büschel besetzt.	F. Str. 0 mm Einzelne Punkte. F. Str. 5,3 mm Einzelne Punkte und Glimmlicht.
		Höhe des Gestelles 20 mm.	
		F. Str. 0 mm Glimmen. F. Str. 32 mm Einzelne Büschel. F. Str. 10,0 mm Draht ist vollständig mit Büschel besetzt.	F. Str. 0 mm Einzelne Punkte. F. Str. 4,9 mm. Punkte und Glimmlicht.
		Glasplatte mit Stanniolbelegung in 20 mm Höhe unter den Draht.	
		a. nicht geerdet.	
		F. Str. 0 mm Glimmen. F. Str. 2,0 mm Büschel.	F. Str. 0 mm Einzelne Punkte. F. Str. 4 mm. Punkte und Glimmlicht.
		b. geerdet.	
	bei F. Str. von 6,7 mm Punkte.	F. Str. 0 mm Glimmen. F. Str. 0,8 mm Büschel.	F. Str. 0 mm Punkte. F. Str. 4 mm Punkte u. Glimmen. **bei Höhe des Gestelles von 5,5 mm und F. Str. 6,7 mm 8 Wellen am Draht**

so weit beobachtet werden konnte, in Ruhe, da er keine grösseren elektrischen Ladungen annehmen kann, sodass etwa auftretende elektrostatische Kräfte sehr klein sind.

Die Lichterscheinungen werden dagegen wesentlich anders, wenn ein grösseres Vakuum bis zu 1 mm und Bruchteilen desselben hergestellt wird.

Bei negativer Elektrisierung hat man zuerst ein schwaches Glimmen des Drahtes, welches beim Vorschalten eines Funkens die Röhre vollständig ausfüllt, derart, dass es von einem Ende zum anderen nach und nach vorschreitet. Der Draht wird bei Vergrösserung der Funkenstrecke dunkler und es tritt ein rosafarbenes Glimmen der ganzen Röhre ein. Gleichzeitig entwickelt sich ein gelblich grünes Licht ausserhalb der Schicht des Glimmlichtes, welches teilweise in geschlossenen breiten Ringen die Rohrwandung erfüllt.

Bei positiver Elektrisierung des Drahtes ist derselbe, ähnlich wie bei der negativen Ladung, von einem gleichmässigen Glimmlicht bedeckt, welches sich beim Vorschalten kleiner Funkenstrecken von 0,3 bis 0,4 mm mit grosser Regelmässigkeit verbreitet und zu einzelnen wandernden linsenförmigen Lichtflecken umbildet. Diese linsenförmigen Körper verschwinden bei der Bewegung und es treten andauernd neue auf. Es hat diese Erscheinung einige Ähnlichkeit mit dem geschichteten Glimmlicht in Geissler'schen Röhren, nur dass die einzelnen Schichten viel breiter sind.

Das Auftreten der gelben Ringe bei negativer Elektrisierung und diese letztere Erscheinung wurde

gleichzeitig von Borgmann[1] bei Verwendung eines Induktoriums mit parallel geschalteter Funkenstrecke beobachtet.

Es scheint also, dass sich durch Vorschalten einer Funkenstrecke mit der Influenzmaschine dieselben Erscheinungen erhalten lassen, wie bei einem Induktorium mit paralleler Funkenstrecke.

Zieht man in der Röhre 2 Drähte, so treten einige neue Lichterscheinungen hinzu. Wird der eine der Paralleldrähte geerdet und der andere an den negativen Konduktor der Influenzmaschine angehängt, so tritt auf diesen Draht ein einziges negatives Büschel auf, welchem auf dem geerdeten Draht eine Stelle positiven Glimmlichts entspricht. Die Erscheinung ist sehr empfindlich und wandert längs der ganzen Länge der beiden Drähte, besonders bei Annäherung irgend eines Körpers an die Glasröhre.[2] Schaltet man eine Funkenstrecke vor, und lässt deren Grösse nach und nach zunehmen, so wächst vom Büschel ein Lichtstreifen zu dem positiven Glimmlicht, es treten mehrere Streifen hinzu und dadurch bildet sich eine rötliche Streifenentladung zwischen den Drähten aus. (Fig. 19.) Bei Umkehr der Elektrisierung bleiben die Erscheinungen dieselben und wechseln nur die Drähte, an denen sie auftreten.

Wird der zweite Draht nicht geerdet, so treten am Entladungsdraht bei negativer Elektrisierung in grosser Zahl Lichtpunkte auf, welche sich bei Vorschaltung von Funkenstrecken in Strahlen verwandeln, die längs

---

[1] Borgmann, Phys. Zeitschrift **2**, p. 659. — 1901 u. **3**, p. 433. — 1902.

[2] Borgmann, Phys. Zeitschr. **3**, p. 565. — 1902.

der Röhrenwand auf den anderen Draht über gehen (Fig. 20). Bei positiver Ladung dagegen ist am Draht erst eine Glimmentladung vorhanden, die sich nach Vorschalten einer Funkenstrecke in Büschel verwandelt, welche in geringerer Anzahl auftreten, dafür aber eine grössere Stärke wie in freier Luft entstehenden haben. Die Büschel schwingen zuerst um den Draht und gehen bei grösseren Funkenstrecken dann längs der Glaswand auf den anderen Draht über.

Entsprechend diesen Büscheln bilden sich auf der äusseren Röhrenwand leuchtende Ringe von bläulich fahler Farbe, die zu rotieren scheinen. Leitet man die äussere Röhrenwand an einer Stelle ab, so bildet sich ein runder nichtleuchtender Fleck auf derselben, welcher sich nach und nach vergrössert, bis die Ladung auf der abgeleiteten Stelle sich neu gebildet hat. Eine Beeinflussung aller dieser Erscheinungen durch magnetische Felder mittlerer Intensität konnte nicht konstatiert werden.

6. Resultate.

1. Auf Grund der vorstehenden Untersuchungen kann man sich jetzt ein vollständiges Bild des Violschen Versuchs in folgender Weise machen.

Parallel zu dem isoliert aufgespannten Prüfungsdraht befindet sich eine nicht isolierte Holzleiste, die daher das Erdpotential besitzt. Der Draht ist mit dem negativen Pol einer Influenzmaschine verbunden. Ist keine Funkenstrecke vorhanden, so zeigen sich im

Dunkeln einzelne leuchtende Punkte (Büschelentladungen). Sobald eine Funkenstrecke zwischen Draht und Maschine eingeschaltet wird, erscheint das wellenförmige Leuchten des Drahtes. Die Punkte treten in der Mitte der leuchtenden Wellen auf.

Der Versuch zeigt nun, dass ein frei ausgespannter elektrisierter Draht ohne mechanische Bewegung bleibt; sobald jedoch ein Leiter in seine Nähe kommt, tritt infolge von elektrostatischer Anziehung ein Schwingen ein. Dieser mechanischen Schwingung entspricht das wellenförmige Leuchten.

Das Einschalten einer Funkenstrecke macht den Elektrizitätszufluss von der Influenzmaschine periodisch. Es tritt zunächst bei der Ladung eine elektrostatische Anziehung zwischen Draht und Gestell ein, sodass der Draht gespannt wird. Dann tritt aber, noch ehe ein neuer Funken überspringt, ein Ausgleich der Ladungen und damit infolge der Elastizität des Drahtes ein Rückschwingen ein. Während der Schwingung erfolgt eine neue Ladung und daher eine neue Anziehung. Der Prozess wiederholt sich in Perioden, die der Zahl der überspringenden Funken und damit der Grösse der Funkenstrecke entsprechen. Die Drahtschwingung ist eine erzwungene Schwingung. Daher ist sie, wie schon Herr Viol beobachtete, in weiten Grenzen unabhängig von der Drahtspannung, und es entspricht der für die Grundschwingung hörbare Ton der Anzahl der überspringenden Funken.

Je geringer die Ladungspotentiale, d. h. je kleiner die Funkenstrecken sind, desto schwächer werden

offenbar die elektrostatischen Kräfte. Analog den akustischen Erscheinungen sind für die Grundschwingung grössere Kräfte nötig als für die Obertöne. Daher zerfällt bei kleineren Kräften, d. h. bei Verringerung der Schlagweite die Grundschwingung des Drahtes in ihre durch ganzzahliges Verhältnis gegebenen Oberschwingungen (Viol) und entsprechend dieser Unterteilung nimmt die Zahl der leuchtenden Wellen zu.

2. Die übrigen aus den Versuchen gefundenen Resultate lassen sich zu nachstehenden Sätzen zusammenfassen:

a) Die durch Seitenentladung eines Drahtes auf photographischen Platten hervorgerufenen Lichterscheinungen sind abhängig von den mehr oder weniger schnellen Schwingungen und den dabei den Draht durchlaufenden elektrischen Intensitäten.

b) Bei der Elektrisierung durch eine Influenzmaschine findet dies in der Abhängigkeit von der Grösse der vorgeschalteten Funkenstrecke seinen Ausdruck.

c) Die Ausstrahlungserscheinungen sind von dem Material des Drahtes und von der Beeinflussung der Magnetfelder mittlerer Intensität unabhängig.

d) In isoliert gespannten Drähten werden durch die von elektrischen Potentialschwankungen hervorgerufenen elektrostatischen Kräfte Transversalschwingungen ausgelöst, sobald sich ein Leiter in der Nähe befindet.

e) Der Schwingungszustand ist abhängig von der Grösse der vorgeschalteten Funkenstrecke und beeinflusst

die durch negative Entladung hervorgerufenen Lichterscheinungen derart, dass an den Knoten der mechanischen Schwingung die Lichterscheinung auftritt, während die Bäuche dunkel bleiben.

f) Die Lichtwellen am Entladungsdraht geben nicht die Wellenlänge der den Draht durchlaufenden oszillatorischen Elektrizitätsbewegungen wieder und sind von der Wellenlänge der letzteren unabhängig.

g) Die Seitenentladungen an Drähten in evakuierten Röhren werden durch die Erscheinungen der Gasentladungen und durch Influenzeinwirkungen der Glaswände modifiziert.



Zum Schlusse danke ich herzlichst sowohl meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Wachsmuth, für die Anregung zu dieser Arbeit und für die mir im Verlaufe derselben gewährten Ratschläge, als auch dem Direktor des Physikalischen Institutes, Herrn Professor Dr. Matthiessen, für das mir stets entgegengebrachte freundliche Interesse.





Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.

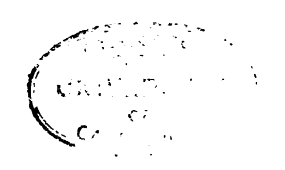




Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.



Fig. 9.



Fig. 10.

